第 37 卷　第 3 期
2020 年 5 月

干　旱　区　研　究
ARID　ZONE　RESEARCH

Vol. 37　No. 3
May 2020

doi:10.13866/j. azr. 2020. 03. 03

新疆克里雅河下游植被与地下水埋深关系初探①

王雅梅[1]，　张青青[1]，　李　骊[1]，　赵新风[2,3,4]

（1. 新疆农业大学，新疆 乌鲁木齐　830052；
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐　830011；
3. 中国科学院阿克苏农田生态系统国家野外科学观测研究站，新疆 阿拉尔　843300；4. 中国科学院大学，北京　100049）

摘　要：于 2018 年选取克里雅河下游为研究靶区布置监测断面，设置 2 条监测带，纵向沿河方向 1 条样带（共 11 个监测断面），横向选取 3 个典型断面，距河道不同距离布点（共 8 个监测点），获取乔灌草植被长势及每个断面地下水埋深数据。通过对研究区植物生长状况、群落分布情况的分析，讨论了植被长势与地下水埋深的关系，得出：① 沿河道方向，地下水位影响植物群落的分布，监测断面 1 ~ 6 地下水埋深较浅，主要为芦苇（*Phragmites australis*）群落；断面 7 ~ 11 地下水埋深不断下降，则以胡杨（*Populus euphratica*）群落为主。② 在垂直于河道 500 m 范围内，越往荒漠方向植被盖度越小，地下水埋深越深，各长势指标分别在距离河道 150 m、200 m、300 m、400 m、500 m 处差异显著（$P < 0.01$）；③ 不同植物的生长对于地下水埋深的要求不同，骆驼刺（*Alhagi sparsifolia*）、甘草（*Glycyrrhiza uralensis*）等浅根植物更容易在浅水位下生长，胡杨、柽柳等深根植物在深水位更占优势。在地下水位较深断面（7 ~ 11）与较浅断面（1 ~ 6）植物平均高度分别为 100.50 cm 和 149.38 cm，后者较前者高出 48.64%。

关键词：地下水埋深；植物多样性；克里雅河下游；新疆

克里雅河流域位于塔里木河流域南缘的于田县境内，南靠昆仑山主脉，北临塔克拉玛干沙漠。克里雅河自南向北纵贯全流域，是于田县第一大河。流域下游达里雅布依绿洲是唯一深入塔克拉玛干沙漠腹地的天然绿色长廊，因其具有重要的荒漠生态科研价值和旅游探险价值，已引起科学界的广泛关注[1-3]。但在 20 世纪 50 年代后，随着克里雅河中游人工绿洲的快速扩张，导致下游河道断流，天然植被日趋衰败，土地沙化加剧，荒漠生态系统更加脆弱[1,4]。为了挽救下游天然绿洲，开展该区水资源优化配置方面的研究逐渐被相关部门所重视。关于克里雅河流域的研究多集中于流域的中上游[5-6]，如关于流域与绿洲承载力的关系[7-9]的研究。目前，对克里雅河下游尾闾天然植被的研究仍以一些老前辈对当地植被物种的定性研究为主[1,10-11]，缺少量化分析，缺乏对地下水的关注。而地下水微小的变化对于地表植被影响较大，且发现当地物种较简单[12-14]。然而，经过几十年后的克里雅河下游以及达里雅布依绿洲天然植被是否发生了变化？地下水埋深情况如何以及克里雅河下游植被与地下水位埋深的关系也成为大家关注的焦点。本文选取克里雅河流域作为研究区，通过研究下游植被与地下水埋深的关系，为恢复克里雅河流域生态环境以及较小尺度的内陆河流域水资源优化配置模式提供理论依据。

1　研究区概况

克里雅河流域地处欧亚大陆腹地，远离海洋，属暖温带极端干旱荒漠气候区。流域多年平均气温 9.53 ℃，极端最高气温 43.0 ℃，极端最低气温 −26.3 ℃；年平均降水量 44.7 mm，蒸发量 2 239.8 mm。

克里雅河发源地昆仑山北麓，全长 438 km，多年平均径流量 7.22×10^8 m^3。流域空间跨度为 81°09′ ~ 82°51′E、35°14′ ~ 39°29′N（图 1），南北长约 466 km，东西宽 30 ~ 120 km，呈牛腿状。研究区总面积 3.95×10^4 km^2，其中山区面积 1.24×10^4 km^2，平原区面积 5 700 km^2，沙漠面积 2.14×10^4 km^2，土壤沙漠化严重，尤其近年，风沙不断蚕食绿

①　**收稿日期**：2019 − 07 − 01；　**修订日期**：2019 − 08 − 27
基金项目：西部之光项目（Y734341）；国家科技基础性工作专项（2015FY110508 − 16）资助
作者简介：王雅梅（1995 − ），女，硕士研究生，主要从事草地生态研究. E-mail：15038511989@163. com
通讯作者：张青青. E-mail：greener2010@sina. com

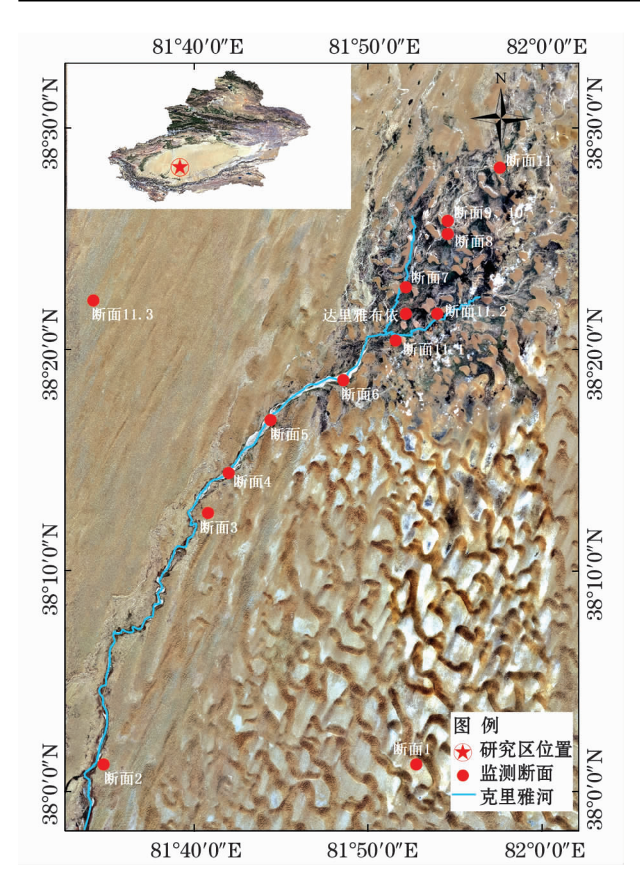


图 1　克里雅河流域地理位置及监测断面分布示意图

Fig. 1　Schematic diagram of geographical location and monitoring section distribution in the Keriya River Basin

洲,荒漠范围不断扩大。植被主要有耐干旱耐盐碱的柽柳(*Tamarix chinensis*)、芦苇(*Phragmites australis*)、胡杨(*Populus euphratica*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、香蒲(*Typha orientalis*)等;地下水平均埋深在 -3.4 m,最深处达 -8.3 m,是中国西部生态系统最为脆弱的地区之一[15]。

2　研究方法

在克里雅河下游中下段沿着河道方向,以达里雅布依为中心布设植被监测断面,每隔 10 km 布设 1 个监测断面,共布置 11 个监测断面(表 1)。在每个断面布置 2 ~ 3 个 50 m × 50 m 的大样方,内按梅花点采样法布置 5 个 1 m × 1 m 的小样方。在每个断面获取地下水埋深数据。地下水埋深数据采用套管打钻法获取,井深均为 15 m,连通直径约 5 cm 的硬质橡胶管道以便于观测,所选的生态井基本可以代表研究区地下水分布状况,14 口生态井沿克里雅河分布,其中,点 11 往后的 3 口生态井位于沙漠深

表 1　克里雅河下游中下段沿河道方向植被监测样点布置与地下水位

Tab. 1　Vegetation monitoring sections arrangement and groundwater level in the middle and lower reaches of the lower reaches of the Keriya River

断面	纬度/(°)	经度/(°)	海拔/m	地下水埋深/m
断面 1	38.02	81.88	1 216	3.25
断面 2	38.02	81.58	1 216	3.10
断面 3	38.21	81.68	1 198	1.80
断面 4	38.24	81.70	1 197	1.70
断面 5	38.28	81.74	1 197	1.30
断面 6	38.31	81.81	1 180	1.30
达里雅布依	38.36	81.87	1 180	2.07
断面 7	38.38	81.87	1 174	3.00
断面 8	38.42	81.91	1 162	5.60
断面 9	38.43	81.91	1 176	6.60
断面 10	38.43	81.91	1 176	8.30
断面 11	38.47	81.96	1 181	>6.00
断面 11.1	38.34	81.86	1 172	>3.50
断面 11.2	38.36	81.90	1 177	>6.20
断面 11.3	38.37	81.57	1 190	5.57

注:断面 11.1,11.2,11.3 位于沙漠深处,由于交通工具难以进入,地下水位数据更难获取,因而保留断面数据,使数据更具科学性。

处,数据获取难度较大,较为珍贵,因而作为点 11 的补充使研究区整体数据更科学、完整。

每个监测断面均以河边为起点,在垂直于河道方向的 10 m、50 m、100 m、150 m、200 m、300 m、400 m、500 m 处设置样方。由于断面 4、断面 6、断面 11 是课题组 2013 年 5 月布置的断面,当年得到了第一手植被监测资料,因此笔者将这 3 个断面称为典型断面。在垂直于河道方向的 3 个断面,从河道往荒漠方向的 10 m、50 m、100 m、150 m、200 m、300 m、400 m、500 m 处设置样方,在每个监测断面布置 2 ~ 3 个 50 m × 50 m 的大样方,1 m × 1 m 的小样方则采取梅花点采样法在大样方内布置 4 ~ 5 个。这 3 个断面从河道往荒漠方向分布有芦苇、胡杨、柽柳等。距河道不同距离处植被的物种数、植被高度、植被盖度等均取 3 个断面的平均值。

基于此次野外调查的数据,用以反映地下水与植被盖度、高度和胡杨密度及胸径的关系,同时,选取计算 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数来反映植被物种多样性的变化情况。Simpson 指数(D)是反映群落优势度较好的一个指标;Shannon-Wiener 指数(H)的计算公式表明,群落中生物种类增多代表了群落的复杂程度增高,即 H 值越大,群落所含

的信息量越大。计算公式如下所示：

$$\text{Simpson 指数}: D = 1 - \sum_{i=1}^{S} P_i^2$$

$$i = 1,2,\cdots,S \tag{1}$$

式中：D 为 Simpson 指数值，描述植被类型的多少和各类型在空间上分布的均匀程度，即特征植被中的复杂性、类型的齐全水平或多样性状况；S 是样方内植被类型；P_i 为每一类植被所占总植被的比例，以小数表示。D 值的最小值为 0，表明只有 1 种植被分布类型，D 的最大值为 $(1-1/S)$，表明样方内植被类型有 2 种以上，并分布均等，为 $1/S$。

$$\text{Shannon-Wiener 指数}: H = -\sum_{i=1}^{S}(P_i \ln P_i) \tag{2}$$

式中：H 是指数值，代表样方内植被信息的可变性。其组成成分变化越大，不确定性变化越大。同时也用来描述植被个别出现的差异和不确定性，不确定性越高，它的多样性也就越高。S 是植被种类总数；P_i 是第 i 个物种的出现频率。H 的最小值为 0，表明只有 1 种植被类型，H 的最大值为 $\ln S$，表明样方内植被类型有 2 种以上，并分布均等，为 $1/S$。

3 结果与分析

3.1 植被纵向分布与地下水埋深变化

克里雅河下游中下段沿着河道方向植被盖度有一定的变化（图 2）。总体分为 2 种植被类型：前 6 个断面的植被种类主要是以芦苇为建群种的植被类型，断面 7～11 是以胡杨为建群种的植被类型。断面 6 是湿地公园芦苇群落与达里雅布依胡杨林的交界断面，从图 2 可以看出，地下水埋深整体变化大致呈下降趋势，同时植被盖度亦呈下降趋势，即前 6 个断面的植被盖度相对较大，植被盖度均 >45%，断面 7～11 均为以胡杨为主的植被类型，植被盖度均 <50%。

克里雅河下游中下段（上游往下游方向）地下水埋深和整个沿途植被平均高度见图 2。由图 2a 可知，地下水埋深越浅，植被越高，地下水埋深越深，植被越矮，说明以芦苇为主的植被群落受地下水的影响较大。从图 2b 可以看出，地下水位较浅处胡杨较高，地下水位较深处则较矮。

克里雅河下游中下段沿河道方向地下水埋深在不同监测断面处存在差异（图 2），主要分为 2 种情况：① 芦苇群落：断面 1～6 地下水埋深普遍较浅，在 1.3～3.3 m；② 胡杨－柽柳群落：断面 7～11 地下水埋深普遍较深，除了监测断面 8 外，其他监测断面多在 3.0～8.3 m。克里雅河下游中下段沿河道方向植被物种数在不同监测断面处存在差异，也主要分为 2 种情况：① 芦苇群落：断面 1～6 单位面积物种数量较多，在 3.0～5.8 种·$(100^2)^{-1}$，植被群落以灌草为主，主要植物种类是柽柳、芦苇、骆驼刺、甘草、苦豆子、香蒲等；② 胡杨群落：断面 7～11 单位面积物种数较少，在 2.0～3.5 种·$(100^2)^{-1}$，植物种类是胡杨、柽柳、芦苇。

3.2 距河道不同距离植被分布特征

图 3 是距河道不同距离植被盖度、平均高度和单位面积物种数的情况。在距河道 10 m、50 m、100 m、150 m、200 m、300 m、400 m、500 m 处设置样方，样方内植被盖度分别为 60.2%、51.1%、41.3%、15.8%、10.2%、5.3%、3.6%、0.8%；植被平均高度分别为 136.5 cm、78.5 cm、97.5 cm、285.1 cm、175.3 cm、120.2 cm、90.1 cm、17.4 cm；物种数分别为 3.9、4.1、3.7、4.3、3.3、2、1.2、0.5 种·$(100m^2)^{-1}$（图 3）。可见，从河道往荒漠方向无论是植被盖度、平均高度还是单位面积物种数大致呈

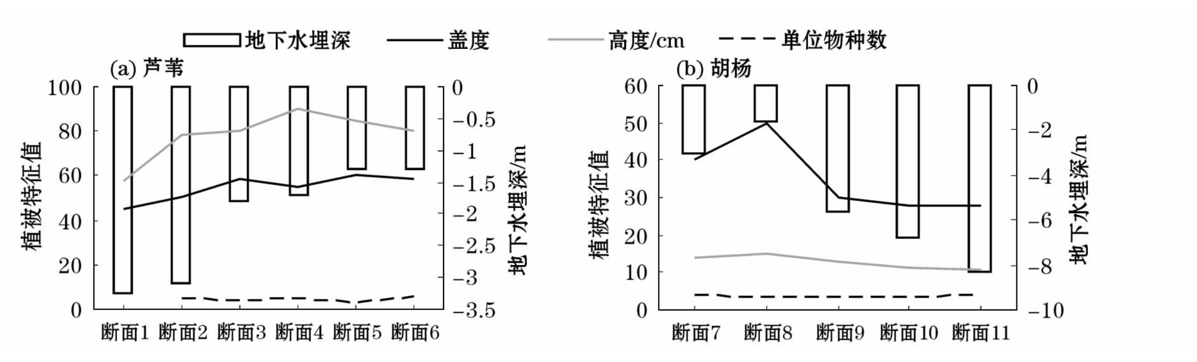


图 2 植物盖度、高度及物种数与地下水埋深的关系

Fig. 2 Relationship between plant cover, height and species number and groundwater depth

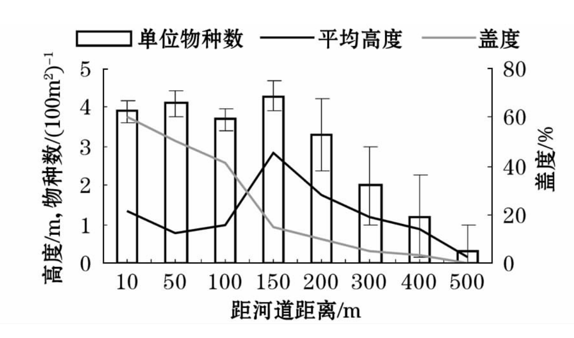


图 3　距河道不同距离与植被盖度、平均高度、平均物种数的比较

Fig. 3　Comparison of different distances from the river course with vegetation coverage, average height, and average species

下降趋势。

由于距河道 10 ~ 100 m 与距河道 150 ~ 500 m 植被盖度差异显著($P<0.01$),所以将 8 个梯度分为 2 段:① 距河道 10 ~ 100 m;② 距河道 150 ~ 500 m。从 10 ~ 100 m 处,芦苇是主要建群种,而且离河道越近芦苇越高,距河道稍远处则高度降低,到了 150 m 处几乎看不到芦苇;在 150 m 以外几乎被柽柳所代替,由草本过渡到灌木,最大柽柳包高度可达到 3 ~ 4 m;从 150 m 处往荒漠方向植被高度呈直线下降;从 150 ~ 500 m 处主要植被是柽柳,特别是距河道较近的 150 m 处柽柳包较高大,但距河道越远柽柳高度越矮,高度下降的原因主要是越往荒漠方向地下水位越深、受地表径流影响越小。距河道 150 m 以内,单位面积物种数在 3.7 ~ 4.3 种 · $(100m^2)^{-1}$,每个距离间相差 0.16 种 · $(100m^2)^{-1}$。而在距河道 200 ~ 500 m 处单位面积物种数为 0.5 ~ 3.3 种 · $(100m^2)^{-1}$,可见,距离 150 m 以内,单位面积物种数呈显著下降趋势。

一个较大的标准差代表大部分数值和其平均值之间差异较大;一个较小的标准差,代表这些数值较接近平均值。在距河道 150 m 范围内各梯度(分别距河道 10 m、50 m、100 m、150 m)单位面积物种数差别不大,这 4 个距离内的单位面积物种数水平的标准差亦相差不大(标准差在 0.28 ~ 0.40)。然而,在距河道 150 m 范围以外各梯度(距河道 200 m、300 m、400 m、500 m)的单位面积物种数差别较大(标准差在 0.70 ~ 1.05)(图 3)。说明,距河道越近植物分布较均匀,越远则不均匀。

3.3　植物生长与地下水关联性分析

克里雅河下游下段是以胡杨林为主的乔木群落。由图 4a 可以看出,胡杨胸径随地下水埋深呈现出下降的趋势,可见地下水位与胡杨胸径关系密切。从图 4b 可以看出,地下水位越浅单位面积的胡杨数量越多,地下水位越深单位面积的胡杨数量越少。

从植被多样性的纵向结果来看,图 5 中 Simpson 指数随地下水埋深呈现出差异性,地下水埋深越浅,Simpson 指数越大,相反,则越小。Shannon-Wiener 指数也呈正相关关系。以上两个指数与地下水埋深的相关系数分别为 −0.85、−0.76(此数值为图 7R^2 的开方)。可知在荒漠环境中,地下水的埋深对于植物的多样性和均匀性有着紧密的联系,地下水深的地方,如 −10 ~ −6 m,无论是 Simpson 指数还是 Shannon-Wiener 指数都较低,植物的多样性和均匀性都无法保证,而随着地下水埋深趋于低浅,Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数都有大幅提升,物种的多样性和均匀性有了明显的改善与提高。体现了荒漠区地下水埋深对于荒漠植物生存的重要性和必要性。

4　讨 论

无论是纵向还是横向,从植被的分布来说,在干旱的地区,地下水是荒漠植物生长发育的首要因素。研究区地处我国西部干旱区,特殊的干旱环境造成

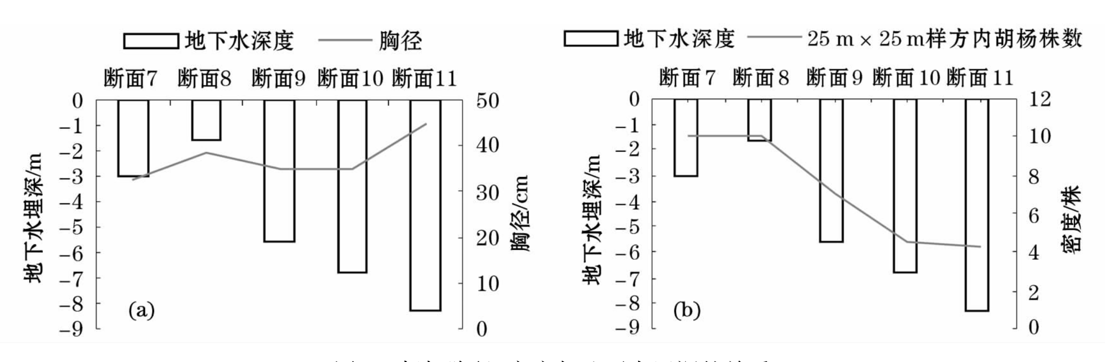


图 4　胡杨胸径、密度与地下水埋深的关系

Fig. 4　Relationship between *Populus euphratica* DBH and density and groundwater depth

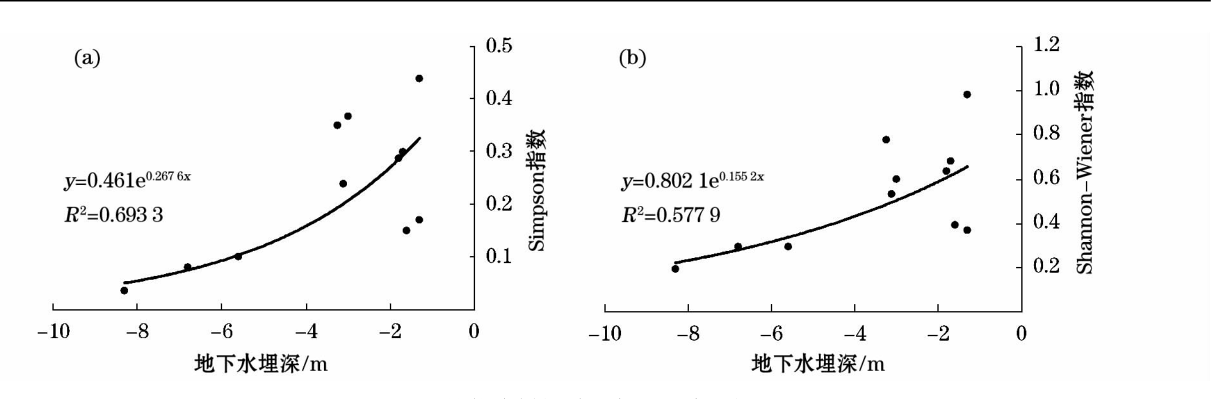


图5 植物多样性关系与地下水埋深

Fig. 5 Relationship between plant diversity and groundwater depth

降水对植物生长的影响微乎其微,绝大多数天然植被所需的水分主要依靠地下水,由于地表径流量时空分布的巨大差异,从上而下沿河道的地下水位呈现逐渐下降的趋势。从沿河流11个监测断面来看,断面1~6地下水位浅,以草本群落为主,芦苇为建群种,其他植被有柽柳、骆驼刺、甘草等;随着地下水位的加深,在断面7~11以深根植被胡杨为建群种,浅根植被几乎消失,芦苇和柽柳有零星分布,说明地下水深度的加大抑制了浅根植物的生长[16-18];横向植物分布受地下水限制更加明显,在150 m以内,尚有以芦苇为主的草灌木群落,而离河岸越远,如在500 m处已无植被分布。这进一步说明地下水是促进荒漠植物生长发育的关键因素[19-21]。而在植被的分布中也能发现,芦苇和柽柳分布范围较为广泛,地下水位从深到浅均能见到二者的身影,说明其生态位宽度较大[22-23]。植被作为干旱区珍贵的自然资源,也对地下水有着重要作用[24],完善的植被体系可以有效地保留水分,以保护下渗,补充地下水,同时起到防风固沙,保持水土的作用,再期地下水反哺更大范围的植被。

研究表明,在干旱区地下水位对于物种多样性起着至关重要的作用,物种多样性对地下水的响应呈正相关关系(图5)[25-27],在地下水位较浅的断面,物种数明显要高,例如:沿河道方向布置的断面中,断面1~6属于地下水埋深浅的断面,单位面积物种数在3.0~5.8种·(100m^2)$^{-1}$,到了深水断面7~11,单位面积物种数则在2.0~3.5种·(100m^2)$^{-1}$,地下水深的断面物种数最高值只达到地下水浅的断面的最低值,且随着地下水位的加深,断面就只剩胡杨、柽柳等植被,物种单一;垂直于河道方向的断面,10~100 m单位面积物种数最高可达3.9~4.1种·(100m^2)$^{-1}$,150~500 m单位面积物种数则逐渐减至0.5种·(100m^2)$^{-1}$。无论是植被盖度还是单位面积物种数,地下水位浅的断面也更占优势。这与徐海量等[28-30]的研究结果是相一致的。而且Simpson指数和Shannon-Wiener指数亦有相同趋势,随着地下水埋深变浅,植物多样性和均匀度都有较大改善[31]。可见,在荒漠地区,地下水对于物种多样性相当重要[32]。

研究数据表明,不同植物的生长对于地下水深度有着不同的要求。纵向断面中,断面1~6地下水位在1.3~3.25 m,地下水埋深较浅,因而浅根植物占据优势,如芦苇、骆驼刺、甘草等灌草植物生长较多;垂直于河道的10~100 m处由于距河道近,情况亦是如此。而在断面7~11,地下水位多在5.0~7.0 m,最深处可达8.3 m,则浅根植物逐渐消失,代之以胡杨、柽柳等乔灌木为主;垂直河道150~500 m的断面,距离河道较远,地下水位不断加深,导致在150 m处柽柳成为优势植被,灌木深根植物更易生长。像芦苇、胡杨等的植被高度明显要比地下水位深的断面高,甚至在离河道150 m的断面上柽柳的高度达到285 cm,这是因为150 m是芦苇和柽柳的交界处,且距河较近,地下水位浅,因而在150~200 m处植被高度较0~100 m处芦苇群落要高。并且在胡杨生长的断面,地下水位相对浅时,胡杨胸径与密度明显比地下水位深的断面的胡杨胸径更粗,密度更大。这与白玉峰等[33-35]对于不同植被对地下水埋深的需求不同的研究结果相类似,徐俏等[36]也认为,随着与河岸距离的增加,柽柳等乔灌木植被的生长情况相比草本植物更有优势。

5 结 论

(1)沿克里雅河方向向下游布点,研究发现物

种组成简单,均是耐旱的深根系植物;其次越往下游方向植被长势越差、单位面积物种数越少;从达里雅布依绿洲往荒漠方向,越往荒漠方向天然植被长势越差、单位面积物种数越少。

(2)随克里雅河下游断流情况的不断恶化,流域周围的生物多样性大幅下降。浅水位植被覆盖度大,植被长势好,单位面积物种数可达到 3.0～5.8 种·$(100m^2)^{-1}$,而地下水位不断加深,使许多浅根植物消失,换之以胡杨、骆驼刺等深根植物生长,因而植被覆盖度迅速下降,单位面积物种数只有 2.0～3.5 种·$(100m^2)^{-1}$。

(3)克里雅河下游植物生长情况与地下水位呈负相关关系,Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数与地下水埋深相关系数分别为 -0.85、-0.76。在距河岸 150 m 以内,植被高度在 78～285 cm,在 200 m 以外,由于距河岸愈来愈远,造成地下水位不断加深,从而植被高度锐减至 500 m 处的 17.1 cm。胡杨胸径和郁闭度也由于地下水趋深而随之变小。

致谢:在此特别感谢新疆生产建设兵团和地质勘探与设计研究院石河子分院的赵付军工程师、刘永明工程师在野外给予的帮助。

参考文献(References):

[1] 周兴佳,黄小江,陈方,等. 新疆克里雅河绿洲形成、演变与综合整治[J]. 干旱区资源与环境,1995,9(3):65－73. [Zhou Xingjia, Huang Xiaojiang, Chen Fang, et al. Formatlon, evolutlon and management of Keliyahe oasis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,1995,9(3):65－73.]

[2] 宫丽彦,程磊磊,卢琦. 荒地的概念、分类及其生态功能解析[J]. 自然资源学报,2015,30(12):1969－1981. [Gong Liyan, Cheng Leilei, Lu Qi. Analysis of the definition, classification and ecological function of wasteland[J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(12):1969－1981.]

[3] 段菁. 内蒙古毛乌素苏里格国家沙漠公园建设思路探讨[J]. 林业资源管理,2016(6):41－44. [Duan Jing. Discussion about construction ideas of the Maowusu Sulige national desert park in Inner Mongolia[J]. Forest Resources Management,2016(6):41－44.]

[4] 胡文康,张立运. 克里雅河下游荒漠河岸植被的历史、现状和前景[J]. 干旱区地理,1990,13(1):46－51. [Hu Wenkang, Zhang Liyun. History present condition and desert vegetation in the lower reaches of Keliya river[J]. Arid Land Geography,1990,13(1):46－51.]

[5] 邵跃杰,罗光明,王建,等. 新疆克里雅河上游主要离子化学特征及其成因[J]. 干旱区研究,2018,35(5):1021－1029. [Shao Yuejie, Luo Guangming, Wang Jian, et al. Hydrochemical characteristics and formation causes of main ions in water of the Keriya River, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(5):1021－1029.]

[6] 祖拜代·木依布拉,夏建新,普拉提·莫合塔尔,等. 克里雅河中游土地利用/覆被与景观格局变化研究[J]. 生态学报, 2019,39(7):1－9. [Zubaida Muyibul, Xia Jianxin, Polat Muhtar, et al. Land use and landscape pattern changes in the middle reaches of the Keriya River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7):1－9.]

[7] 程仲雷,海米提·依米提. 克里雅河流域水资源承载力初步研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(35):21997－21999. [Cheng Zhonglei, Hamid Yimit. The preliminary study on water resources carrying capacity in Kelerya River Basin[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2011,39(35):21997－21999.]

[8] 王宏卫,安秀峰,塔西甫拉提·特依拜,等. 基于乡镇尺度的克里雅河绿洲生态承载力分析——以于田县 13 个乡镇生态承载力为例[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(10):48－55. [Wang Hongwei, An Xiufeng, Taxifulati Teyibai, et al. Assessment on the ecological carrying capacity of towns in Yutian County[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2015,29(10): 48－55.]

[9] 柴春梅,王宏卫,刘勤,等. 克里雅河绿洲人口结构与经济结构的灰色关联分析[J]. 湖北农业科学,2016,55(12):3243－3248. [Chai Chunmei, Wang Hongwei, Liu Qin, et al. Grey relational analysis of population structure and economic structure in Keriya Oasis[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(12): 3243－3248.]

[10] 倪频融. 达里雅博依绿洲的历史、现状及其演变前景[J]. 干旱区研究,1993,10(4):12－18. [Ni Pinrong. Hisdery, present situation and evolution prospect of Daliya Beyi Oasis[J]. Arid Zone Research,1993,10(4):12－18.]

[11] 周兴佳,朱峰,李世全. 克里雅河绿洲的形成与演变[J]. 第四纪研究,1994,16(3):249－255. [Zhou Xingjia, Zhu Feng, Li Shiquan. The formation and evolution of oasis in the Keliya River valley[J]. Quaternary Sciences,1994,16(3):249－255.]

[12] 樊自立,季方. 克里雅河中下游自然环境变迁与绿色走廊保护[J]. 干旱区研究,1989,6(3):16－14. [Fan Zili, Ji Fang. The changes of natural environment and the green corridor protection in middle-lower reaches of Keliya River[J]. Arid Zone Research, 1989,6(3):16－14.]

[13] 海鹰. 达里雅博依绿洲的生态问题及其维护对策[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版),1994,13(4):79－83. [Hai Ying. Ecolocical problems in Daliyaboi oasis and protecting countermeasures[J]. Journal of Xingjiang Normal University(Natural Sciences Edition),1994,13(4):79－83.]

[14] 丁俊祥,邹杰,唐立松,等. 克里雅河流域荒漠－绿洲交错带 3 种不同生活型植物的光合特性[J]. 生态学报,2015,35(3): 733－741. [Ding Junxiang, Zou Jie, Tang Lisong, et al. Photosynthetic characteristics of three different life-form plants in the des-

ert-oasis ecotone of Keriya River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015,35(3):733－741.]

[15] 陈锐,邓祥,战金艳,等. 流域尺度生态需水的估算模型与应用——以克里雅河流域为例[J]. 地理研究,2005,24(5):725－731.[Chen Rui,Deng Xiang,Zhan Jinyan,et al. Estimation model and application of the amount of eco-water demand: A case study on Keriya river basin[J]. Geographical Research,2005,24(5):725－731.]

[16] 马龙,刘廷玺. 科尔沁沙地植物生态型与地下水位及土壤水分的关系研究[J]. 中国沙漠,2007,27(3):391－396.[Ma Long, Liu Tingxi. Relationship of plant ecotype with groundwater depth and soil Moisture in Horqin sandy land[J]. Journal of Desert Sesearch,2007,27(3):391－396.]

[17] 朱林,许兴,毛桂莲. 宁夏平原北部地下水埋深浅地区不同灌木的水分来源[J]. 植物生态学报,2012,36(7):618－628.[Zhu Lin,Xu Xing,Mao Guilian. Water sources of shrubs grown in the Northern Ningxia plain of China characterized by shallow groundwater table[J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2012,36(7):618－628.]

[18] 王希义,徐海量,潘存德,等. 塔里木河下游地下水埋深对草本植物地上特征的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(11):3057－3064.[Wang Xiyi,Xu Hailiang,Pan Cunde,et al. The influence of groundwater depth on aboveground herbaceous characteristics in the lower reaches of Tarim River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015,34(11):3057－3064.]

[19] 汤奇成,张捷斌. 西北干旱地区水资源与生态环境保护[J]. 地理科学进展,2001,20(3):226－232.[Tang Qicheng, Zhang Jiebin. Water resources and eco-environment protection in the arid regions in Northwest of China[J]. Progress in Geography,2001,20(3):226－232.]

[20] 李卫红,周洪华,杨晓明,等. 干旱荒漠区草地植物群落地上生物量时空分布对地下水的响应[J]. 草业学报,2010,19(5):186－195.[Li Weihong, Zhou Honghua, Yang Xiaoming, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of aboveground biomass of grassland plant communities in an arid area[J]. Acta Prataculturae Sinica,2010,19(5):186－195.]

[21] 赵军,杨建霞,朱国锋. 生态输水对青土湖周边区域植被覆盖度的影响[J]. 干旱区研究,2018,35(6):1251－1281.[Zhao Jun,Yang Jianxia,Zhu Guofeng. Effect of ecological water conveyance on vegetation coverage in surrounding area of the Qingtu Lake[J]. Arid Zone Research,2018,35(6):1251－1281.]

[22] 李向义,林丽莎,张希明,等. 塔克拉玛干绿洲外围胡杨林的水分特征研究[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(6):763－766.[Li Xiangyi,Lin Lisha,Zhang Ximing,et al. Characteristics of water status in *Populus euphratica* outside the oases in the Taklamkan Desert[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology,2007,13(6):763－766.]

[23] 郝兴明,李卫红,陈亚宁. 新疆塔里木河下游荒漠河岸(林)植被合理生态水位[J]. 植物生态学报,2008,32(4):838－847.[Hao Xingming,Li Weihong,Chen Yaning. Water table and the desert riparian forest community in the lower reaches of Tarim River,China[J]. Journal of Plant Ecology,2008,32(4):838－847.]

[24] 陈亚宁,李卫红,陈亚鹏,等. 荒漠河岸林建群植物的水分利用过程分析[J]. 干旱区研究,2018,35(1):130－136.[Chen Yaning,Li Weihong,Chen Yapeng,et al. Water use process of constructive plants in desert riparian forest[J]. Arid Zone Research, 2018,35(1):130－136.]

[25] 郑田,李卫红,李建贵,等. 塔里木河下游绿洲荒漠过渡带群落多样性特征分析[J]. 中国沙漠,2009,29(2):241－247.[Zheng Tian,Li Weihong,Li Jiangui,et al. Characters of community diversity in the oasis-desert transition zone in lower reaches of Tarim River[J]. Journal of Desert Research,2009,29(2):241－247.]

[26] 张雪妮,吕光辉,王庭权,等. 荒漠区垂直河岸带植物多样性格局及其成因[J]. 生态学报,2015,35(18):5966－5974.[Zhang Xueni,Lyu Guanghui,Wang Tingquan,et al. Patterns and mechanisms influencing plant diversity in an arid desert region riparian zone of the Aqikesu River, Xinjiang, China[J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(18):5966－5974.]

[27] 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等. 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系[J]. 生态学报,2013,33(7):2212－2224.[Chen Yongjin,Liu Jiazhen,Chen Yaning,et al. Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River,China[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(7):2212－2224.]

[28] 徐海量,宋郁东,王强,等. 塔里木河中下游地区不同地下水位对植被的影响[J]. 植物生态学报,2004,28(3):400－405.[Xu Hailiang, Song Yudong, Wang Qiang, et al. The effect of groundwater level on vegetation in the middle and lower reaches of the Tarim River,Xinjiang,China[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004,28(3):400－405.]

[29] 郝兴明,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河中下游荒漠河岸林植被对地下水埋深变化的响应[J]. 地理学报,2008,63(11):1123－1130.[Hao Xingming, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Response of desert riparian forest vegetation to groundwater depth changes in the middle and lower Tarim River[J]. Acta Geographica Sinica,2008,63(11):1123－1130.]

[30] 石瑞花,李霞,尹业彪,等. 孔雀河流域天然植物多样性与地下水关系[J]. 资源科学,2009,31(9):1553－1560.[Shi Ruihua, Li Xia,Yin Yebiao,et al. The relationship between plant diversity and groundwater in the Kongquehe River Basin[J]. Resources Science,2009,31(9):1553－1560.]

[31] 马俊梅,满多清,李得禄,等. 干旱荒漠区退耕地植被演替及土壤水分变化[J]. 中国沙漠,2018,38(4):800－807.[Ma Junmei,Man Duoqing,Li Delu,et al. Characteristics of vegetation succession and soil moisture in abandoned cropland of arid desert region[J]. Journal of Desert Research,2018,38(4):800－807.]

[32] 张钦弟,卫伟,陈利顶,等. 黄土高原草地土壤水分和物种多样性沿降水梯度的分布格局[J]. 自然资源学报,2018,33(8):

1351 – 1362. [Zhang Qindi, Wei Wei, Chen Liding, et al. Spatial variation of soil moisture and species diversity patterns along a precipitation gradient in the grasslands of the loess plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(8): 1351 – 1362.]

[33] 白玉峰,徐海量,张沛,等.塔里木河下游荒漠植物多样性、地上生物量与地下水埋深的关系[J].中国沙漠,2017,37(4):724 – 732. [Bai Yufeng, Xu Hailiang, Zhang Pei, et al. Relation of desert vegetation species diversity and aboveground biomass to groundwater depth in the lower reaches of Tarim River[J]. Journal of Desert Research, 2017, 37(4): 724 – 732.]

[34] 王希义,徐海量,潘存德,等.塔里木河下游优势草本植物与地下水埋深的关系[J].中国沙漠,2016,36(1):216 – 224. [Wang Xiyi, Xu Hailiang, Pan Cunde, et al. Relation of dominant herbaceous plant species to groundwater depth in the lower reaches of Tarim River[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(1): 216 – 224.]

[35] 王希义,徐海量,凌红波,等.生态输水对塔里木河下游植被恢复价值的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(4):160 – 166. [Wang Xiyi, Xu Hailiang, Ling Hongbo, et al. Effects of ecological water conveyance on recovery value of vegetation in the lower reaches of Tarim River[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(4): 160 – 166.]

[36] 徐俏,叶茂,徐海量,等.塔里木河下游生态输水对植物群落组成、多样性和稳定性的影响[J].生态学杂志,2018,37(9):2603 – 2610. [Xu Qiao, Ye Mao, Xu Hailiang, et al. Effects of ecological water conveyance on the composition, diversity and stability of plant community in the lower reaches of Tarim River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(9): 2603 – 2610.]

Preliminary study on the relationship between vegetation and groundwater depth in the lower reaches of the Keriya River

WANG Ya-mei[1], ZHANG Qing-qing[1], LI Li[1], ZHAO Xin-feng[2,3,4]

(1. *Xinjiang Agriculture University*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*;
2. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011, *Xinjiang*, *China*;
3. *Xinjiang Aksu Oasis Agro-Ecosystem Observation and Experiment Station*, *Aral* 843300, *Xinjiang*, *China*;
4. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: In 2018, the lower part of the Keriya River was selected as the monitoring section for the research target area. Two monitoring belts were set up, and a sample belt along the longitudinal direction of the river was selected, with a total of 11 monitoring stations. Three typical sections of riverine vegetation were selected at different distances from the river, making a total of eight monitoring points, to obtain information on the growth of the arbor-shrub vegetation community and the groundwater depth of each section. Through the analysis of the status of vegetation growth and community distribution in the study area and discussion of the relationship between vegetation growth and groundwater depth, it is found that in the direction of the river, the groundwater level affects the distribution of plant communities. The groundwater depth of the monitoring sections 1 – 6 is shallow, and the vegetation is dominated by *Phragmites australis*. The depth of groundwater in sections 7 – 11 is decreasing, and the vegetation is dominated by *Populus euphratica*. Within 500 m of the river channel, the vegetation coverage in the desert direction is sparser, and the depth of the groundwater is deeper. In addition, the growth indicators are significantly different at 150, 200, 300, 400, and 500 m ($P < 0.01$). We found that different plants have different requirements for groundwater depth: *Algagi sparsifolia*, *Glycyrrhiza uralensis*, and other shallow-rooted plants were more likely to grow where there is a shallow water table, and deep-rooted plants, such as *Populus euphratica* and *Tamarix* spp., were more dominant where there was a deep water table. In the deeper (7 – 11) and shallower (1 – 6) sections of the water table, the average height of the plants was 100.50 and 149.38 cm, respectively, and the latter was 48.64% higher than the former.

Key words: groundwater depth; plant diversity; Lower Keliya River; Xinjiang